

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 2 F 1/37
H 0 1 S 3/108
3/16G 0 2 F 1/37
H 0 1 S 3/108
3/16

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平9-212080

(22) 出願日

平成9年(1997) 8月6日

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6丁目7番35号

(72) 発明者 金田 有史

東京都品川区北品川 6丁目7番35号 ソニ
株式会社 社内

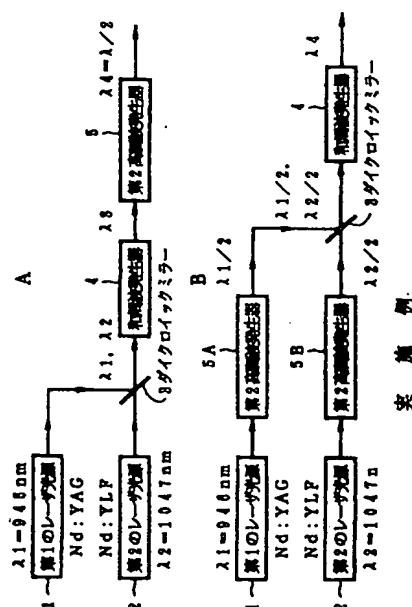
(74) 代理人 弁理士 松隈 秀盛

(54) 【発明の名称】 レーザ光発生装置

(57) 【要約】

【課題】 波長が248nmに近似し、高出力であると共に、毒性がなく、長寿命で、解像性能の高いレーザ光発生装置を得る。

【解決手段】 波長が λ_1 (=946nm) の第1のレーザ光を発生する固体レーザからなる第1のレーザ光源1と、波長が λ_2 (=1047nm) の第2のレーザ光を発生する固体レーザからなる第2のレーザ光源2と、第1及び第2のレーザ光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ の出力レーザ光を得る非線形波長変換手段4、5とを有する



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長が λ_1 ($=946\text{nm}$) の第1のレーザ光を発生する固体レーザからなる第1のレーザ光源と、

波長が λ_2 ($=1047\text{nm}$) の第2のレーザ光を発生する固体レーザからなる第2のレーザ光源と、

上記第1及び第2のレーザ光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ の出力レーザ光を得る非線形波長変換手段とを有することを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項2】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記第1のレーザ光源は、Nd:YAG固体レーザであり、

上記第2のレーザ光源は、Nd:YLF固体レーザであることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項3】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記非線形波長変換手段は、

上記第1及び第2のレーザ光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$ のレーザ光を得る和周波発生器と、

該和周波発生器よりの波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$ のレーザ光から、波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ のレーザ光を得る第2高調波発生器とから構成されることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項4】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記非線形波長変換手段は、

上記第1及び第2のレーザ光から波長が $\lambda_1/2$ 、 $\lambda_2/2$ のレーザ光を得る第1及び第2高調波発生器と、

該第1及び第2高調波発生器よりの波長が $\lambda_1/2$ 、 $\lambda_2/2$ のレーザ光から、波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ のレーザ光を得る和周波発生器とから構成されることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項5】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記第1及び第2のレーザ光源は、それぞれ同じ繰り返し周波数でパルス発振するQスイッチ固体レーザからなることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項6】 請求項5に記載のレーザ光発生装置において、

所定周波数のパルス信号を発生するパルス発生器及び該パルス発生器よりのパルス信号から所定時間差を有する第1及び第2のトリガパルス信号を得る遅延手段を備えた駆動装置を設け、

上記Nd:YAG固体レーザ及び上記Nd:YLF固体レーザをそれぞれ構成する第1及び第2の共振器の各光制御素子に、それぞれ上記第1及び第2のトリガパルス信号を供給して、その各トリガパルス期間毎にそれぞれ

レーザ光発生装置。

【請求項7】 請求項6に記載のレーザ光発生装置において

上記遅延手段は可変遅延手段にて構成され、上記出力レーザ光の強度が最大になるように、上記所定時間差を調整し得るようにしたことを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項8】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

10 上記非線形波長変換手段は、2個又は3個の非線形波長変換器から構成されると共に、そのうちの少なくとも1個の非線形波長変換器は、 β -ほう酸バリウムからなることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項9】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記非線形波長変換手段は、2個又は3個の非線形波長変換器から構成されると共に、そのうちの少なくとも1個の非線形波長変換器は、ほう酸リチウムからなることを特徴とするレーザ光発生装置。

20 【請求項10】 請求項1に記載のレーザ光発生装置において、

上記非線形波長変換手段は、2個又は3個の非線形波長変換器から構成されると共に、そのうちの少なくとも1個の非線形波長変換器は、ほう酸セシウムリチウムからなることを特徴とするレーザ光発生装置。

【請求項11】 請求項3に記載のレーザ光発生装置において、

上記和周波発生器は、チタン酸リン酸カリウムの光学結晶からなることを特徴とするレーザ光発生装置。

30 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体製造装置における半導体ウェーハの微細加工に用いられるステップ式投影露光装置（ステッパ）の露光用光源、加工装置等に適用して好適なレーザ光発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 かかる露光用光源や加工装置に適用されるレーザ光源は、その短波長化及び高出力化が強く要請されている。この露光用光源としては、従来、波長が248nmのフッ化クリプトン（KrF）気体レーザが用いられていた。

【0003】 一方、Nd:YAG (Nd³⁺:Y₃Al₅O₁₂, Neodymium:Yttrium Aluminium Garnet) 固体レーザやNd:YLF (Nd³⁺:LiYF₄, Neodymium:Yttrium Lithium Fluoride) 固体レーザよりのレーザ光を、非線形波長変換によって第4高調波を得るようにしたレーザ光発生装置は広く普及して。即ち、固体レーザよりの波長が1064nmのレーザ光の第4高調波の波長は266nmとなる。

【0004】

【発明の概要】 本発明は、半導体製造装置における半導体ウェーハの微細加工に用いられるステップ式投影露光装置（ステッパ）の露光用光源、加工装置等に適用して好適なレーザ光発生装置に関する。

の波長がかなり短く、しかも出力が高いので、ステップ式投影露光装置の露光用光源に好適であるが、その反面以下のような欠点を有している。即ち、KrF気体レーザーは、そのKrFガスに毒性があり、ガス自体の寿命が短く、光源の構成部品の寿命が短いという欠点があった。

【0005】又、Nd:YAG固体レーザーやNd:YLF固体レーザーよりのレーザー光を非線形波長変換により、第4高調波を得るようにしたレーザー光発生装置は、固体レーザーの励起光源として半導体レーザーを使用でき、信頼性が高く、メンテナンスコストが低いという特長を有しているが、その反面以下のような欠点を有している。即ち、半導体製造装置における露光装置や加工装置に用いられレーザー光源は、解像性能を高くするために緻密な設計が要求され、又、合成石英等のように、用いられる硝材の屈折率分散(屈折率の波長依存性)から、20nm異なる波長では、所望の解像性能は得られないため、かかるレーザー光発生装置は、固体レーザーの優位性にも拘らず、半導体製造装置の露光装置の光源や加工装置に採用されていない。

【0006】かかる点に鑑み、本発明は、波長が248nmに近似し、高出力であると共に、毒性がなく、長寿命で、解像性能の高いレーザー光発生装置を提案しようとするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明によるレーザー光発生装置は、波長が λ_1 (=946nm)の第1のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第1のレーザー光源と、波長が λ_2 (=1047nm)の第2のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第2のレーザー光源と、第1及び第2のレーザー光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ の出力レーザー光を得る非線形波長変換手段とを有するものである。

【0008】かかる本発明によれば、波長が λ_1 (=946nm)の第1のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第1のレーザー光源からのその第1のレーザー光と、波長が λ_2 (=1047nm)の第2のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第2のレーザー光源の第2のレーザー光とを、非線形波長変換手段によって波長変換することによって、波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ (=248.5nm)の出力レーザー光が得られる。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明によるレーザー光発生装置は、波長が λ_1 (=946nm)の第1のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第1のレーザー光源と、波長が λ_2 (=1047nm)の第2のレーザー光を発生する固体レーザーからなる第2のレーザー光源と、第1及び第2のレーザー光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ の出力レーザー光を得る非線形波長変換手段とを有するものである。

【0010】この場合、第1のレーザー光源は、Nd:YAG固体レーザーであり、第2のレーザー光源は、Nd:YLF固体レーザーである。

【0011】非線形波長変換手段は、第1及び第2のレーザー光から波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2)$ のレーザー光を得る和周波発生器と、その和周波発生器よりの波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ のレーザー光を得る第2高調波発生器とから構成される。

10 【0012】非線形波長変換手段は、第1及び第2のレーザー光から波長が $\lambda_1/2$ 、 $\lambda_2/2$ のレーザー光を得る第1及び第2高調波発生器と、その第1及び第2高調波発生器よりの波長が $\lambda_1/2$ 、 $\lambda_2/2$ のレーザー光から、波長が $\lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{2(\lambda_1 + \lambda_2)\}$ のレーザー光を得る和周波発生器とから構成することも可能である。

【0013】第1及び第2のレーザー光源は、それぞれ同じ繰り返し周波数でパルス発振するQスイッチ固体レーザーから構成される。

20 【0014】所定周波数のパルス信号を発生するパルス発生器及びそのパルス発生器よりのパルス信号から所定時間差を有する第1及び第2のトリガパルス信号を得る遅延手段を備えた駆動装置を設け、Nd:YAG固体レーザー(Qスイッチ固体レーザー)及びNd:YLF固体レーザー(Qスイッチ固体レーザー)をそれぞれ構成する第1及び第2の共振器の各光制御素子に、それぞれ第1及び第2のトリガパルス信号を供給して、その各トリガパルス期間毎にそれぞれ光共振動作を行なわせるようにする。

30 【0015】遅延手段は可変遅延手段にて構成され、出力レーザー光の強度が最大になるように、所定時間差を調整し得るようにする。

【0016】非線形波長変換手段は、2個又は3個の非線形波長変換器から構成されると共に、そのうちの少なくとも1個の非線形波長変換器は、 β -ほう酸バリウム、ほう酸リチウム、又は、ほう酸セシウムリチウムから構成される。

40 【0017】【実施例】以下に、図1及び図2を参照して、本発明によるレーザー光発生装置の実施例を詳細に説明する。まず、図1Aの実施例を説明する。それぞれQスイッチ固体レーザーからなる第1及び第2のレーザー光源1、2を設ける。第1のレーザー光源1は、具体的には、波長が λ_1 (=946nm)の第1のレーザー光を発生するNd:YAG固体レーザーである。第2のレーザー光源2は、具体的には、波長が λ_2 (=1047nm)の第2のレーザー光を発生するNd:YLF固体レーザーである。

50 【0018】尚、Nd:YAG固体レーザーは波長が1064nmのときの発振が強く、産業用途にも良く用いられ、又、半導体レーザーによる励起も可能であるところから、安価で信頼性の高いレーザー光源である。近年、励起

用光源である半導体レーザーの高輝度化によって、レーザー媒質内の励起密度を上げることが可能になり、波長が946nmの発振を行なわせることが可能になってきた。

【0019】Nd:YAG固体レーザーの波長が946nmの発振は、疑似3準位と呼ばれる発振で、波長が1064nmのときの発振に比べて発振効率は低い、レーザー媒質の冷却等により、十分実用に供し得る高効率発振が可能となっている。この946nmの発振は、固体レーザーにおける共振器を構成する一対の反射鏡として特性の異なる反射鏡を選ぶことで実現できる。

【0020】Nd:YLF固体レーザーは、Nd:YAG固体レーザーと同様に、産業用途にも良く用いられ、又、半導体レーザーによる励起も可能であるところから、安価で信頼性の高いレーザー光源であり、波長が1053nmでの発振の他に、波長が1047nmの発振も可能である。

【0021】第1及び第2のレーザー光源1、2よりの第1及び第2のレーザー光は、ダイクロイックミラー3を用いて、それぞれの光軸が同一となるようにされる。図1Aの場合は、第2のレーザー光はダイクロイックミラー3の一方の面に対し45度の角度を以て入射及び通過させ、第1のレーザー光はダイクロイックミラー3の他方の面に対し45度の角度を以て入射及び反射させることによって、それぞれの光軸が同一となるようにしているが、その逆でも良い。尚、ダイクロイックミラー3の代わりに、波長分散プリズムも使用できる。図1Aでは、第1のレーザー光源1から出射した第1のレーザー光の光路を途中で90度偏向しているが、その偏向は図示を省略した全反射ミラーによって行なう。

【0022】第1及び第2のレーザー光源1、2よりのそれぞれ波長が λ_1 、 λ_2 の第1及び第2のレーザー光は、それぞれの光軸が同一とされた後、和周波発生(SFG: Sum Frequency generation)器4に入射させることによって、波長が $\lambda_3 \{ = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2) \}$ のレーザー光に変換する。この波長 λ_3 は約497nmになる。

【0023】この和周波発生器4の材料としては、ほう酸リチウム(LiB₃O₅)(LBO)、チタン酸リン酸カリウム(KTiOPO₄)(KTP)、 β -ほう酸バリウム(β -BaB₂O₄)(BBO)等が可能である。

【0024】和周波発生器4よりの波長が λ_3 のレーザー光を、第2高調波発生器5によって、波長が $\lambda_4 \{ = \lambda_3 / 2 = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{ 2(\lambda_1 + \lambda_2) \} \}$ の出力レーザー光 λ_4 に波長変換する。この波長 λ_4 は約248.5nmになる。

【0025】この第2高調波発生器5の材料としては、 β -ほう酸バリウム(β -BaB₂O₄)(BBO)、ほう酸セシウムリチウム(CsLiB₆O₁₀)(CLBO)等が可能である。

【0026】次に、図1Bの実施例を説明するも、図1

Bにおいて、図1Aと対応する部分には、同一符号を付して重複説明を省略する。図1Aの実施例では、第1及び第2のレーザー光源1、2よりのそれぞれ波長が λ_1 、 λ_2 の第1及び第2のレーザー光を、和周波発生器4によって、波長が $\lambda_3 \{ = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2) \}$ のレーザー光に変換し、その波長が λ_3 のレーザー光を第2高調波発生器5によって、波長が $\lambda_4 \{ = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{ 2(\lambda_1 + \lambda_2) \} \}$ の出力レーザー光に変換したが、和周波発生器及び第2高調波発生器の位置を入れ換えても良いことは明白である。

【0027】即ち、図1Bの実施例では、第1及び第2のレーザー光源1、2よりの波長がそれぞれ λ_1 、 λ_2 の第1及び第2のレーザー光を、それぞれ各別の第2高調波発生器5A、5Bによって、波長がそれぞれ $\lambda_1 / 2$ ($= 473 \text{ nm}$)、 $\lambda_2 / 2$ ($= 523.5 \text{ nm}$)のレーザー光に変換する。そして、波長がそれぞれ $\lambda_1 / 2$ 、 $\lambda_2 / 2$ のレーザー光を、ダイクロイックミラー3によって、それぞれの光軸が同一になるようにし後、和周波発生器4によって、波長が $\lambda_4 \{ = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / \{ 2(\lambda_1 + \lambda_2) \} \}$ の出力レーザー光を得るようにする。この出力レーザー光の波長 λ_4 は248.5nmとなり、図1Aの場合の出力レーザー光の波長と同じになる。

【0028】次に、図1A、Bの実施例におけるそれぞれ固体レーザーからなる第1及び第2のレーザー光源1、2の具体的構成例及びその駆動装置の例を説明する。第1及び第2のレーザー光源1、2は、一対の互いに対向する反射鏡(凹面鏡)10A、10B及び11A、11Bからなるレーザー共振器9A、9B並びにそのレーザー共振器9A、9B内に配されたレーザー媒質6A、6B、そのレーザー媒質6A、6Bをそれぞれ励起する励起光源(半導体レーザー及びその他のレーザーが可能である)7A、7B及び集光器8A、8B及び光制御素子12A、12Bから構成される。

【0029】次に、第1及び第2のレーザー光源1、2の駆動装置について説明する。例えば、3kHz~10kHz程度の一定周波数のパルス信号を発生するパルス発生器13よりのパルス信号をそれぞれ遅延時間が τ_A 、 τ_B ($\tau_A \neq \tau_B$)の遅延器(可変遅延器)14A、14Bに供給してそれぞれ遅延させて、トリガパルス信号を形成して、光制御素子14A、14Bに供給する。

【0030】そして、各光制御素子12A、12Bにトリガパルス信号が供給されているパルス期間のみ、第1及び第2のレーザー光が各光制御素子12A、12Bを通過して、レーザー媒質6A、6Bよりのレーザー光が各一対の反射鏡10A、10B及び11A、11B間を順逆双方向に繰り返して進行し、それ以外の期間では各光制御素子12A、12Bによって第1及び第2のレーザー光の進行が阻止されるようにされる。

【0031】第1及び第2のレーザー光源1、2のレーザー共振器9A、9Bをそれぞれ構成する互いに対向する反

10

20

30

40

50

射鏡 10A、10B 及び 11A、11B 間を、第 1 及び第 2 のレーザ光が往復進行し、大きなパワーになったとき第 1 及び第 2 のレーザ光が反射鏡 10A、10B 又は 11A、11B から外部に出射する。

【0032】そして、第 1 及び第 2 のレーザ光源 1、2 よりの第 1 及び第 2 のレーザ光のパワーが最大になるように、遅延器 14A 又は 14B の遅延量を調整して、第 1 及び第 2 のレーザ光間の時間差を調整するようにしている。

【0033】高効率、高出力非線形変換に用いられるパルスレーザは、外部からの信号によってトリガされる Q スイッチによって時間幅に短い、即ち、尖頭値の高いパルスレーザ光を得る Q スイッチレーザと称されるレーザ光源である。

【0034】図 1A 及び図 1B の和周波発生器 4 から出力されるレーザ光のパワーは、和周波発生器 4 に入力する 2 つのレーザ光のパワーの瞬時値の積の関数で表される。そして、和周波発生器 4 に入力する 2 つのレーザ光がパルスレーザ光である場合は、それぞれのパルス期間が重なっていることが必要で、若し重なっていない場合は、2 つのレーザ光は相互作用せず、2 つのレーザ光のパワーの瞬時値の積は 0 となってしまう。

【0035】和周波発生器 4 に入力する 2 つのパルスレーザ光が時間的に重なるためには、それぞれの繰り返し周波数が完全に一致していることが必要であるので、図 2 に示す如く、共通のパルス発生器 13 からのパルス信号を各別の遅延器 14A、14B によって遅延させてそれぞれのトリガパルス信号を作って、第 1 及び第 2 のレーザ光源 1、2 の光制御素子 12A、12B に供給するようにしている。

【0036】しかし、Q スイッチパルスの立ち上がりのタイミングは、レーザ光源によって異なるので、2 つの Q スイッチレーザ光源に同じタイミングのトリガパルス信号でトリガを掛けたとしても、同じタイミングのパルスレーザ光が発生するとは限らないので、第 1 及び第 2 のレーザ光源、即ち、2 つの Q スイッチレーザ光源 1、2 に供給されるトリガパルス信号の相対的タイミングを可変して、それぞれのパルスレーザ光が同期するように、即ち、パルスレーザ光のタイミングを測定機器によって観測しながら、又は、第 2 高調波発生器 5 (図 1A の場合) 若しくは和周波発生器 4 (図 1B の場合) より出力されるパルスレーザ光のパワーが最大になるように、遅延器 14A、14B のいずれか一方、又は、両方の遅延量 τA 、 τB を可変する。

【0037】

【発明の効果】第 1 の本発明によれば、波長が $\lambda 1$ ($=946\text{nm}$) の第 1 のレーザ光を発生する固体レーザからなる第 1 のレーザ光源と、波長が $\lambda 2$ ($=1047\text{nm}$)

m) の第 2 のレーザ光を発生する固体レーザからなる第 2 のレーザ光源と、第 1 及び第 2 のレーザ光から波長が $\lambda 1 \cdot \lambda 2 / \{2(\lambda 1 + \lambda 2)\}$ の出力レーザ光を得る非線形波長変換手段とを有するので、波長が 248nm に近似し、高出力であると共に、毒性がなく、長寿命で、解像性能の高いレーザ光発生装置を得ることができる。

【0038】尚、この第 1 の本発明の非線形波長変換手段は、第 1 及び第 2 のレーザ光から波長が $\lambda 1 \cdot \lambda 2 / (\lambda 1 + \lambda 2)$ のレーザ光を得る和周波発生器と、その和周波発生器よりの波長が $\lambda 1 \cdot \lambda 2 / (\lambda 1 + \lambda 2)$ のレーザ光から、波長が $\lambda 1 \cdot \lambda 2 / \{2(\lambda 1 + \lambda 2)\}$ のレーザ光を得る第 2 高調波発生器とから構成されるか、又は、第 1 及び第 2 のレーザ光から波長が $\lambda 1 / 2$ 、 $\lambda 2 / 2$ のレーザ光を得る第 1 及び第 2 高調波発生器と、その第 1 及び第 2 高調波発生器よりの波長が $\lambda 1 / 2$ 、 $\lambda 2 / 2$ のレーザ光から、波長が $\lambda 1 \cdot \lambda 2 / \{2(\lambda 1 + \lambda 2)\}$ のレーザ光を得る和周波発生器とから構成される。

【0039】第 1 の本発明のレーザ光発生装置において、第 1 及び第 2 のレーザ光源は、それぞれ同じ繰り返し周波数でパルス発振する Q スイッチ固体レーザからなり、所定周波数のパルス信号を発生するパルス発生器及びそのパルス発生器よりのパルス信号から所定時間差を有する第 1 及び第 2 のトリガパルス信号を得る遅延手段を備えた駆動装置を設け、Nd:YAG 固体レーザ及び Nd:YLF 固体レーザをそれぞれ構成する第 1 及び第 2 の共振器の各光制御素子に、それぞれ第 1 及び第 2 のトリガパルス信号を供給して、その各トリガパルス期間毎にそれぞれ光共振動作を行なわせるようにしたので、非線形波長変換手段を構成する和周波発生器の変換効率を高くすることができると共に、遅延手段によって、第 1 及び第 2 のトリガパルス信号の時間差を調整することにより、出力レーザ光の強度が最大になるように調整することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】A 本発明の一実施例を示すブロック線図である。

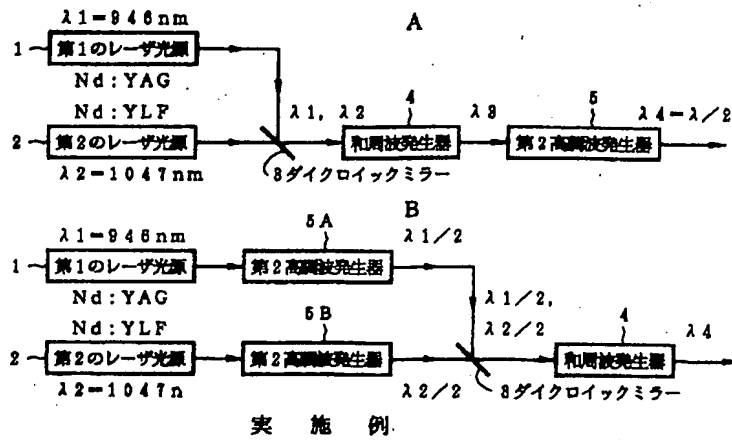
B 本発明の他の実施例を示すブロック線図である。

【図 2】図 1A、B の実施例におけるレーザ光源の構成例と、その駆動装置の例を示すブロック線図である。

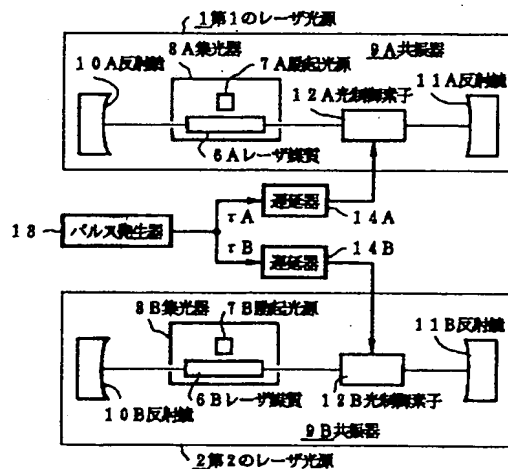
【符号の説明】

1 第 1 のレーザ光源、2 第 2 のレーザ光源、3 ダイクロイックミラー、4 和周波発生器、5、5A、5B 第 2 高調波発生器、6A、6B レーザ媒質、7A、7B 励起光源、8A、8B 集光器、9A、9B 共振器、10A、10B 反射鏡、11A、11B 反射鏡。

【図1】



【図2】



レーザー光源とその駆動装置